

図 1: 直接収容型モデル

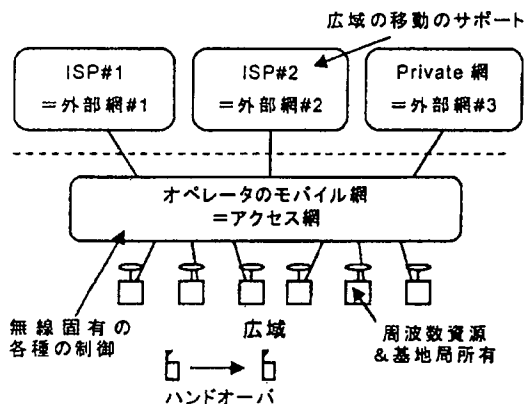


図 2: トランスポート型モデル

これら2つの構成は共存しつつ相互補完的に発展していくと思われるが、本稿では特にトランスポート型モデルのアーキテクチャについて提案する。既にサービスインした IMT-2000 モバイル網 [3] は本モデルの典型であるが、IP との親和性や網の利用効率、異種無線システムのサポート等の面での問題が指摘されている。これらを解決するため IP ベースのモバイル網のアーキテクチャも検討されているが [4][5][6]、これまでの提案は Mobile IP [7] 等の技術をそのまま当てはめているものが多く、複数の ISP がモバイル網をアクセス回線として共有する場合に必須となるトランスポート機能に対する検討が十分なされていなかった。

そこで本稿では新たな All-IP モバイル網のアーキテクチャを提案する。本アーキテクチャは IP ベース、シンプルな網構成、各種無線システムのサポート等の基本的要求を満たすとともに、アクセス網としての課題であるトランスポート機能を効率的に提供することを特徴としている。

以下ではまず 2 章において、All-IP モバイル網への要求条件を述べ、3 章で第 3 世代移動通信網の問題点

を示し、4 章において新たな All-IP モバイル網のアーキテクチャを提案する。

2. アクセス網としての All-IP モバイル網への要求事項

モバイルインターネットにおけるアクセス網としての性質を考慮し、以下に All-IP モバイル網に対する 5 つの要求事項を示す。

(1) 無線技術非依存・異種無線システム統合

オペレータの網敷設・運用コストを削減し、かつ、ユーザーのネットワークへのアクセス性を向上させるために、無線技術に依存せず、かつ、複数の無線システムを統合可能なアーキテクチャが求められる。

(2) トランスポート機能

トランスポート機能とは移動端末と外部網 (ISP 等) とを接続する機能であり、複数の外部網がアクセス網を共有する場合、特に重要となる。例えば ISP#1, ISP#2 のユーザーに対してモバイル網がアクセス回線を提供する場合、ISP#n のユーザーの移動端末へからのパケットの転送はあて先アドレスによらず ISP#n 経由とすべきである。このとき仮に ISP#m 経由が経路的に最適であったとしても、ISP#m にとっては他の ISP のユーザーに網のリソースを使用されることは望ましいことではない。しかし、モバイル網に対して単純に IP を適用すると、IP パケットのフォワーディングは通常パケットのあて先アドレスに基づいて行われるため、このような制御を行うことは不可能である。始点経路制御の仕組みもあるが、網側が経路を強制することはできない。また、Mobile IP を適用した場合、移動端末が使用するアドレスはモバイル網から与えられた気付アドレスであり、パケットのあて先アドレスや送信元アドレスからパケットの属する ISP を識別して制御することはできない。したがって、単なる IP 網ではトランスポート機能の提供は困難であり、移動端末-ISP 間の経路を強制するメカニズムが必要となる。

これに加えてトランスポート機能は ISP が使用しているレイヤ 3 のプロトコルに対して透過的であることが求められる。基本的には ISP が使用するレイヤ 3 プロトコルは IP に集約されつつあるが、IPv4 と IPv6 は今後も共存し続けることが想定される。

(3) 移動制御機能

移動制御機能のうち最も重要なものは移動端末への IP パケットの到達性を提供する位置管理機能である。これは基本的に外部網が持つべき機能であるが、アクセス網においてローカルな位置管理機能を行う場合もある。

一方、アクセス網固有の機能となるのは無線区間に密着した機能である。例えば、端末の省電力と位置登録トラフィックの削減のための Paging 機能や、低遅延で

かつパケット損失の少ないハンドオーバーを実現するための高速ハンドオーバー機能[9]等は外部網ではなくアクセス網において処理しなければならない。

(4) QoS 保証機能及び無線リソース管理機能

QoSは基本的にEnd-to-Endで保証する必要があるが、All-IP モバイル網としてはアクセス網部分のQoSを保証することが求められる。QoS 保証を行うには移動端末の通信に対して適切にリソースを割り当てる必要がある。特に無線区間のリソースは希少な資源であるため、IP のトラヒック特性を考慮した効率的な割当てが求められる。また、リソースの割当てを制御する QoS 保証シグナリングに関しては端末の移動と連携して動作することが求められる。

(5) 認証・課金

ユーザーはアクセス網を提供する移動通信オペレータと外部網の両方と契約してサービスを利用する。このため All-IP モバイル網は移動端末の認証・課金を行うと共に、移動端末と外部網間の認証や、場合によっては課金もサポートする必要がある。また、他の移動通信オペレータのユーザーに対してローミングサービスを提供する機能も必要である。

これらの機能のうち、アクセス網の構成に大きなインパクトを与えるものは、(1)無線技術非依存・異種無線システム統合、(2)トランスポート機能、(3)移動制御機能である。特に(2)、(3)は互いに密接に関連している。以下の章ではまず、IMT-2000 ファミリの一方式である 3GPP (3rd Generation Partnership Project) 網のアーキテクチャに関して、この 3 点から見た課題を示すとともに、新たな All-IP モバイル網アーキテクチャを提案する。なお、(4)QoS 保証機能及び無線リソース管理機能はユーザーに対するサービス性を向上するための重要機能であり、参考文献[1][2]に詳細を示す。

3. 3GPP 網の問題

3.1. 3GPP 網全体の問題

現在導入されつつある 3GPP 網の仕様は図 3 に示すように GSM(Global System for Mobile Communications)をベースとした回線交換コア網に加えてパケット交換コア網を併設する形で策定されてきた。

このようなアーキテクチャでは移動制御などの類似の機能を備えたコア網を 2 セット用意しなければならずコストがかかる。また回線交換コア網とパケット交換コア網とで RAN(Radio Access Network)を共用しているため、RAN にはこれら 2 タイプのシステムをサポートする機能が必須となり、結果的に異種無線システムの統合の敷居を高くしている。さらに、パケットに特化していれば SGSN(Serving GPRS Support Node)と RNC(Radio Network Controller)のような機能分割は

本来不要であり、2 システム共存はシステムの構成を複雑化する要因になっている。

今後、サービスのプラットフォームはオペレータの持つサービス網である IMS(IP Multimedia Subsystem)へと移行し、音声サービスも含めて IP ベースで提供することが予想されている。しかし、IMS は前述の仕様に基づくパケット交換コア網の外部網として定義されるため、結果的にオーバーヘッドの大きいシステムとなってしまうている。

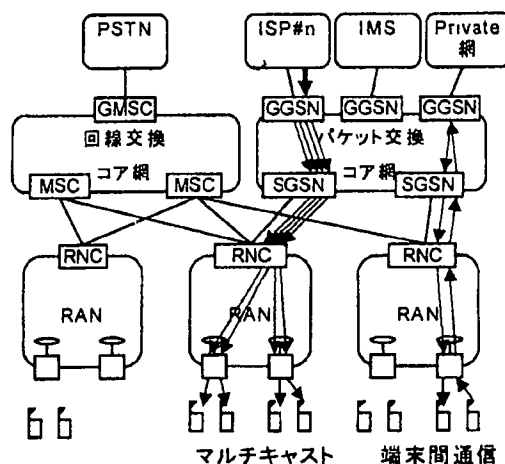


図 3: 3GPP 網構成

3.2. パケット網の問題

3GPP パケット網は ISP や IMS、企業のプライベート網等の外部網に対してトランスポート機能を提供する。3GPP パケット網ではトランスポート機能は移動制御機能と密に統合されており、トンネルベースの方式を使用している。具体的には図 4 に示すように外部網との接続点である GGSN (Gateway GPRS Support Node) から移動端末のいる RNC まで GTP(GPRS Tunneling Protocol)によるトンネルを確立し、移動端末-RNC 間の接続はこのトンネルに接続される。このトンネルは端末の移動に応じて動的に張り直され、移動端末は常にこのトンネルを介して通信を行う。

この方式では、例えば図 3 の右側に示すように、同じ基地局配下にいる移動端末間で通信する場合、パケットは必ず GGSN まで行って折り返すことになる。パケット交換コア網は広域網であるためトンネルも広域にわたったものとなり、余分な遅延やコア網の帯域の損失が発生する。今後、SIP(Session Initiation Protocol)ベースの VoIP サービスや IM(Instant Messaging)などのように移動端末同士が直接通信するサービスが増え、このような非効率性は大きな問題となる。

また、IP マルチキャストを行う場合にも問題が生じ

る。図 3 の中央に示すように外部網から配信された IP マルチキャストの packets は GGSN において移動端末数分コピーされ、トンネルを介して移動端末に対して 1 対 1 で送信される。すなわちマルチ・ユニキャストを行うことになり、マルチキャスト本来のメリットが得られずコア網のリソースを浪費することとなる。

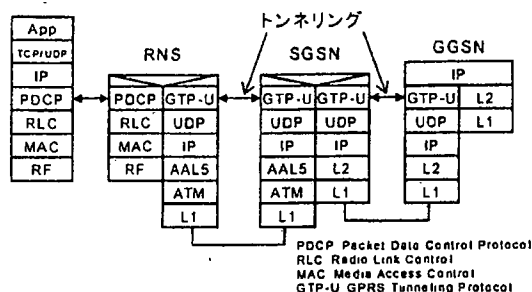


図 4: パケット網のプロトコル構成

4. All-IP モバイル網アーキテクチャの提案

前述の 3GPP 網のアーキテクチャの抱える問題を解決し、特に効率的なトランスポート機能を提供するアーキテクチャを提案する。

4.1. 基本構成

まず、網の物理的な構成を図 5 に示す。基本的には従来と同様の考え方で以下の 2 つの網から構成される。

- 無線技術に依存しない共通コア網
- 無線技術に依存する RAN

共通コア網は IP ベースのシンプルな網である。外部網と共通コア網は ANG (Access Network Gateway) で接続される。ANG は基本的にはルータである。また、共通コア網-RAN 間のインターフェースも IP ベースとなり、AR (Access Router) が RAN を制御する機能を提供する。

RAN の形態は無線技術に依存する。多くの場合は図 5 の右側に示すように AR が無線基地局機能 (BTS: Base Transceiver Station) を備える形態となる。ただし、無線技術によっては図 5 の左側に示すように AR 配下に無線技術固有の網が構成される場合もある。これは、マクロダイバーシティを用いる WCDMA (Wideband CDMA) のように、無線固有の機能が有線区間まで沁み出すタイプの無線技術を使用する場合である。既存の 3GPP の RAN を利用しつつ、本アーキテクチャへと移行する場合、このような構成を用いることになる。

4.2. 移動制御機能とトランスポート機能

本アーキテクチャにおける移動制御機能とトランスポート機能の実現形態について述べる。基本的には移動制御機能とトランスポート機能を統合して実現する形態と、2 つの機能を分離してトランスポート機能

を提供する網をベースとしつつ、その上で移動制御機能が動作する形態の 2 つになる。

いずれの場合も、移動制御機能に関しては基本的に同じ構成となる。まず、外部網では Mobile IP 等の方式を使用して、移動制御機能のうち位置管理機能を提供する。このため HA (Home Agent) が外部網に配置される。一方、All-IP モバイル網では必要に応じて HMIP (Hierarchical Mobile IP) 等のローカルな位置管理機能を備える。この場合、ANG がローカルな Mobility Agent となる。以下では、統合型のアプローチとして適応型トンネル方式を、分離型のアプローチとして仮想コア網方式を提案する。

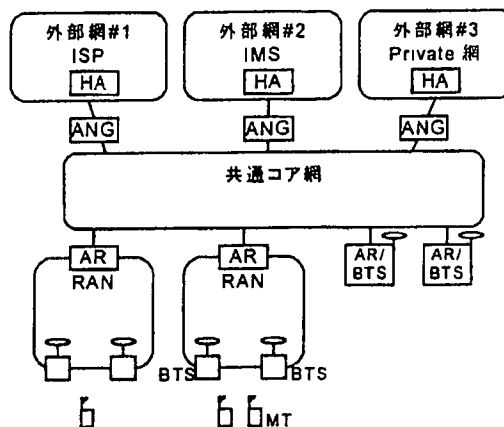


図 5: All-IP モバイル網構成

4.2.1. 適応型トンネル方式

本方式では GTP と同様に移動制御機能とトランスポート機能は統合されており、Mobile IP 等のトンネルをトランスポート機能にも利用する。ただし、トンネルを外部との通信と内部の通信の場合とで使い分けることによりトランスポート機能を効率的に実現する。図 6 にこの構成を示す。ISP#1 に属する移動端末はモバイル網の外部にいるノードと通信する際には、Mobile IP のトンネルを双方向で使用して必ず ISP#1 を経由するようにする。すなわち、図 7 に示すように外部にいる通信相手から移動端末への packets は経路最適化を使用せずに必ず HA (Home Agent) を経由してから移動端末へ転送し、逆に移動端末から外部にいる通信相手への packets は Mobile IP の Reverse Tunneling を強制して、必ず HA を経由する。HA は ISP 内にあるため、packets は必ず ISP を経由することになる。一方、モバイル網内にいる移動端末同士で通信する場合には図 6 の右側に示すように双方向ともトンネルを使用せず、HA を介さずに経路最適化された通信を行う。

仮想網の技術を利用して効率的に実現し、移動制御機能はこの仮想網の上で独立に動作する。

具体的には、図 8に示すように、オペレータの共通コア網は VLAN 機能を備えた広域 Ethernet 等の 2 層の技術、あるいは MPLS (Multi Protocol Label Switching) -VPN などの 2.5 層の技術を利用して、各外部網用の仮想コア網を多重する機能を持つ。各外部網は仮想的にコア網を占有している形態となり、他の外部網の存在を意識する必要はなくなる。

移動端末は AR との間で特定の外部網に接続するためのセッションを確立する。AR は様々な外部網へのセッションを収容するため通常のルータではなく VPN における CE (Customer Edge) ルータとしての機能を備える。図 9 に示すように AR は移動端末との間で保持しているセッションから IP パケットを受信すると、これを接続先の外部網に対応する仮想コア網に流し込む。また、仮想コア網から受信したパケットはあて先の移動端末へ対応するセッションを介して転送する。これにより移動端末-外部網間のトラフィックは AR から仮想コア網に入力された後はその外部網に選択的に転送される。一方、同じ外部網に属する移動端末間のパケットは外部網まで転送されることなしに、仮想コア網を介して最適な経路で転送される。

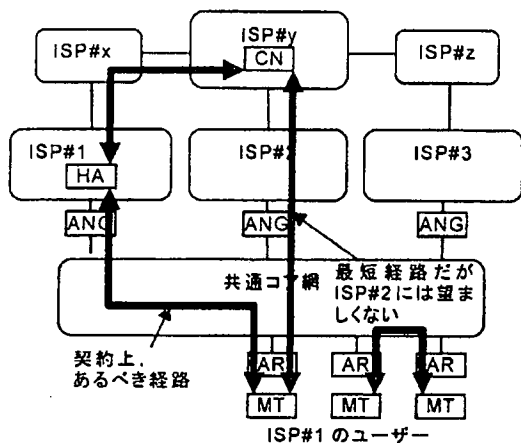


図 6：適応型トンネル方式

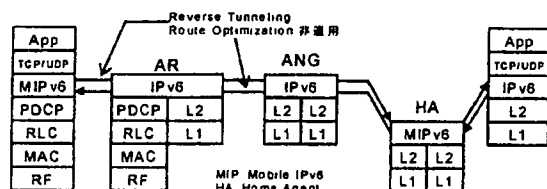


図 7: プロトコル構成

適応型トンネル方式は効率的な輸送機能を実現するが、以下のような問題もある。

- オーバーヘッド：外部網との間のパケットは常にカプセル化されているため効率が若干悪い。また、共通コア網を IPv6 で統一すると、IPv4 ベースの外部網をサポートする場合、さらにカプセル化が必要となる。
- マルチキャスト：ISP#n 内のローカルなマルチキャストパケットを移動端末に配信する場合、異なる管理ドメインであるモバイル網にそのまま転送することはできない。このため Mobile IP のトンネルを使用して端末毎に個別に配信することになり GTP トンネルの場合と同様の問題が生じる。
- セキュリティ：本方式は異なる外部網のトラヒックを完全に分離するものではない。例えば、外部網が企業の Private 網である場合、セキュリティは別的手段で保証する必要がある。

4.2.2. 仮想コア網方式

本方式ではトランスポート機能と移動制御機能を分離する。トランスポート機能はトンネルの代わりに

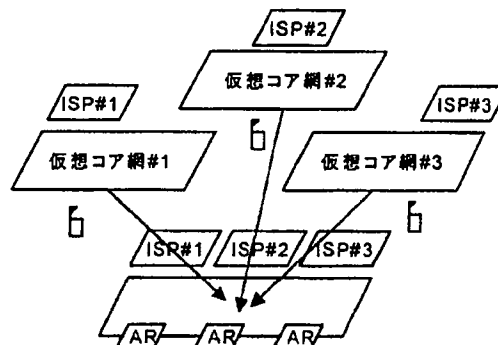


図 8: 仮想コア網方式

移動端末と AR 間のセッションの確立及びハンドオーバーについて以下に示す。セッションは移動端末が最初にネットワークに接続する際に確立される。まず、移動端末は DIAMETER[I0]に拡張を加えた手順により、オペレータのモバイル網との間で認証を行い、続いて接続先の外部網との間でも認証を行う。さらに、リンクレイヤにおいて適切な通信路が設定され、セッションが確立される。セッションのコンテキストとしてはリンクレイヤの識別子などに加え、移動端末と AR 間のパケットを認証する Security Association やこの移動端末を接続すべき仮想コア網の情報等が含まれる。

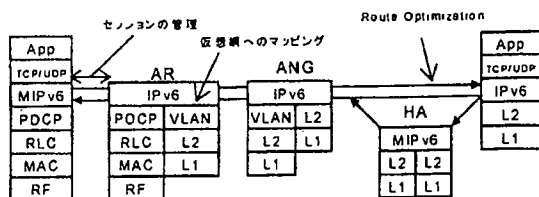


図 9：プロトコル構成

また、移動端末がハンドオーバーし、移動前の AR = oAR 配下から移動後の AR = nAR 配下へ移る場合は通信が途切れないように外部網とのセッションを維持しなければならない。このため図 10 に示すように nAR と oAR との間では移動した端末のセッションのコンテキストを転送する機能を備えている。これにより認証等の処理を再度行うことなく移動端末と nAR との間でセッションを確立し、通信をスムーズに継続することができる。

仮想コア網方式は効率的なトランスポート機能を実現するとともに、適応型トンネル方式において問題となった、効率やレイヤ 3 プロトコル透過性、マルチキャストのサポート、VPN 機能を全て解決する。ただし、外部網の数が多い場合、VLAN 識別子の数などの点で全ての外部網に対して仮想コア網を用意することができない場合も有り得る。

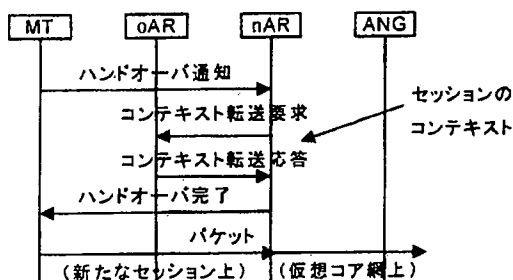


図 10：仮想コア網コンテキスト転送

4.2.3. 二方式の運用形態

上に提案した二方式は排他的なものではなく、組み合わせで互いの短所を補うことができる。特に小規模な外部網から大規模な外部網まで幅広くサポートする場合は、この 2 つを組み合わせる利用するのが効果的である。具体的には、仮想コア網方式をベースとし大規模な外部網はこれでサポートする。さらに、複数の外部網で共通に使用可能な IPv4 ベースの仮想コア網と IPv6 ベースの仮想コア網とを用意し、小規模な外部網はこれらの仮想コア網上で適応的トンネル方式を使用してまとめて収容することができる。

5. まとめ

本稿では、移動通信オペレータのモバイル網のアーキテクチャについて提案した。モバイル網はモバイルインターネットにおけるアクセス網として重要な役割を担うが、現行の 3GPP 網のアーキテクチャでは IP との親和性や効率の面で問題があり、またこれまで検討されてきた All-IP モバイル網においてはアクセス網固有のトランスポート機能が考慮されていない。

本稿では IP ベースのモバイル網のアーキテクチャについて(1)無線システム非依存・異種無線システム統合、(2)トランスポート機能、(3)移動制御機能、(4)QoS 保証及び無線リソース管理機能、(5)認証・課金機能に関する要求事項をまとめた。そして(1)~(3)を考慮して All-IP モバイル網のアーキテクチャを提案すると共に、特にトランスポート機能の効率的に実現する方式として Mobile IP のトンネルを適応的に利用する方式と、仮想網の技術を用いた方式の 2 つを示し、さらに、これらを相互補完的に運用することにより大規模な外部網から小規模な外部網まで幅広くサポートできることを示した。

文 献

- [1] 須田他, "All-IP モバイル網アーキテクチャの提案(2)ー無線リソース管理フレームワークの検討ー," 信学技報, May 2002.
- [2] 小野他, "All-IP モバイル網アーキテクチャの提案(3)ー基地局における QoS 保証パケットスケジューラの検討ー信学技報, May 2002.
- [3] H.Kaarainen et al, UMTS Networks-Architecture, Mobility and Services, John Wiley & Sons, 2001
- [4] 3GPP Tdoc FEW(Future Evolution Workshop)-015(2001) "Future Direction for the Network Architecture"
- [5] 3GPP Tdoc FEW-030(2001) "Principles of an All-IP End Architecture for UMTS"
- [6] 3GPP Tdoc FEW-035(2001), "3G Evolution and Roadmap"
- [7] D.B.Johnson & C.Perkins, "Mobility Support in IPv6", <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mobileip-ipv6-16.txt>
- [8] H.Soliman et al. "Hierarchical MIPv6 mobility management" <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mobileip-hmipv6-05.txt>
- [9] G.Dommetry et al. "Fast Handovers for Mobile IPv6", <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mobileip-fast-mipv6-04.txt>
- [10] P.R.Calhoun et al. "Diameter Base Protocol" <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-aaa-diameter-10.txt>